Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
Leiter: Professor Dr. Dr. P. Riethe
der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. Eugen Fröhlich

Vergleichende Untersuchungen über die relative bzw. absolute Trockenlegung an Zahnhalskavitäten der oberen Front

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Günter Vautz
aus Gengenbach

1969

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543901_0067

Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
Leiter: Professor Dr. Dr. P. Riethe
der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. Eugen Fröhlich

Vergleichende Untersuchungen über die relative bzw. absolute Trockenlegung an Zahnhalskavitäten der oberen Front

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Günter Vautz
aus Gengenbach

1969

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. W. Graumann

Berichterstatter: Professor Dr. Dr. P. Riethe

Gesamtherstellung (Schreibsatz mit IBM Composer):
FOTODRUCK PRÄZIS B.v.Spangenberg KG · Tübingen

In Dankbarkeit meiner Mutter

INHALTSVERZEICHNIS

I. EINLEITUNG 1

II. DIE VERSCHIEDENEN MÖGLICHKEITEN DES TROCKENLEGENS 2
A. Die sog. relative Trockenlegung 2
1. Watterollen 2
2. Speichelsauger 2
3. Zungen- und Wangenhalter 2
4. Medikamentöse Hilfsmittel 3
5. Ätzmittel und Adstringentien 3
B. Die absolute Trockenlegung 3

III. EIGENE UNTERSUCHUNGEN, EXPERIMENTELLER TEIL 5
A. Voruntersuchungen 5
1. Feuchtigkeitsfaktoren, die auf die Kavität einwirken können 5
a) Atmungsfeuchtigkeit 5
aa) Mundatmung 5
bb) Nasenatmung 6
b) Feuchtigkeitsfaktoren aus der Umgebung der Kavität 6
2. Bekannte Feuchtigkeitsmeßmethoden 7
a) Widerstandsverfahren 7
b) Elektronische Feuchtigkeitsmeßmethode 8
B. Eigene Feuchtigkeitsmeßmethode 9
1. Herstellung der Meßkörper 9
2. Stanzform 10
3. Herstellung der Meßhütchen 10
4. Physikalische Eigenschaften des Meßkörpers 11
C. Meßapparatur und Methodik 16
1. Spezialhalterung 16
2. Analysenwaage 17
3. Versuchsablauf am Patienten 17
a) Kofferdam 19
b) Watterollen 21

IV. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE – QUANTITATIVE UND STATISTISCHE AUSWERTUNG 23
A. Auswertung der Meßreihen Kofferdam 24
a) Kofferdam I 24
b) Kofferdam II 27
B. Auswertung der Meßreihen Watterollen 31
a) Watterollen I 31
b) Watterollen II 33
V. DISKUSSION 36
VI. ZUSAMMENFASSUNG 38
VII. LITERATURVERZEICHNIS 39

I. EINLEITUNG

Um eine exakte Füllungstechnik zu gewährleisten, wird neben anderen Faktoren zumindest eine sogenannte relative Trockenlegung, z. B. beim Legen von Amalgan-Füllungen, mehrfach aber auch eine absolute Trockenlegung, gefordert. So soll gerade von letzterem der Erfolg einer Defektversorgung im Frontzahngebiet mit Silikatzementen abhängen (*K. Eichner* [1960], *J. N. Anderson* [1961], *W. Sprungmann* [1923], *C. Dieck* [1922], *M. Schatzmann* [1964], *K. Eichner* [1965], *W. Fritz* und *W. Ketterl* [1966], *K. Dreyer-Jörgensen* [1966], *C. H. Plathner* [1966], *B. Maeglin* [1964] u. a. m.).

Aufgabe dieser Arbeit soll es sein, zu prüfen, ob es tatsächlich eine sogenannte „relative und absolute Trockenlegung" gibt bzw. zunächst eine Methode zu finden, die es ermöglicht, Feuchtigkeitseinflüsse am Zahn bzw. auf die zu versorgende Kavität, quantitativ zu bestimmen.

II. DIE VERSCHIEDENEN MÖGLICHKEITEN DES TROCKENLEGENS

Eine exakte Füllungstherapie erfordert u. a. ein übersichtliches und trockenes Arbeitsfeld. Um dies zu erreichen, stehen verschiedene Hilfsmittel zur Verfügung.

Grundsätzlich wird eine sog. relative und absolute Trockenlegung unterschieden.

A. Die sog. relative Trockenlegung

Nach *H. H. Rebel* (1950) versteht man darunter, daß „das Arbeitsfeld freibleibt von der Mundflüssigkeit, von Blut und Sekreten der Weichteile (Zahnfleischsaum, Papille)".
Dies wird erreicht durch

1. Watterollen:

Die einfachste Methode ist das Einlegen von gut saugenden etwa 2 bis 4 cm langen und unterschiedlich dicken Watterollen in die gingivale Umschlagsfalte des Oberkiefers, bzw. beiderseits des Alveolarfortsatzes des Unterkiefers.

2. Speichelsauger:

Ein übermäßiger Speichelfluß kann zusätzlich noch durch die Wasserstrahlpumpe des Speichelsaugers kontinuierlich abgesaugt werden.

3. Zungen- und Wangenhalter:

Bei kleinem Mundvorhof und unruhiger Zunge gelingt es zuweilen nicht, die Watterollen sicher zu applizieren. Für diese Fälle werden Hilfsmittel verschiedener Art empfohlen.
Für den Unterkiefer wurde der Automaton („Zungen- und Wangenhalter") entwickelt.
Sowohl für den Oberkiefer als auch für den Unterkiefer sind die sogenannten Hallerklammern sehr wirksam und verhältnismäßig leicht zu applizieren. Sie besitzen verlängerte Arme, an denen in kleinen Rasten

Gummiringe befestigt werden können, die die Zahnfleischpapille vom cervikalen Kavitätenrand abdrängen und anämisch machen. Die Klammern werden mit einer Spezialzange aufgesetzt.

4. Medikamentöse Hilfsmittel:

Auch durch medikamentöse Einwirkungen auf Nervenendigungen des Parasympathikus kann der Speichelfluß eingeschränkt werden. Die wirksamste Substanz ist das Atropin (z. B. Belladonna-Dispert). Durch derartige Präparate werden jedoch auch andere sekretorische Drüsen gehemmt, so daß die medikamentöse Trockenlegung nur in ganz besonderen Fällen durchgeführt werden sollte (*E. Harndt* [1955]).

5. Ätzmittel und Adstringentien:

Um kleinere Schleimhautflächen trocken zu legen wurden auch schon Ätzmittel oder Adstringentien verwendet. So kann man mit Jodalkohol, Trichloressigsäure oder Argentosol die Taschenwände abätzen und so die Zahnfleischtaschen trocknen (*R. Rebel* [1950]).

Ebenso kommen immer häufiger speziell verarbeitete Baumwollfäden, ohne oder mit adstringierenden Zusätzen (z. B. Gingipac), zur Anwendung. Circulär in die Zahnfleischtasche eingelegt bringen sie kleinere Läsionsblutungen zum Stehen und verhindern so den Sekretfluß. Ihre Anwendung ist verständlicherweise nur in Verbindung mit Watterollen und den dazugehörigen Hilfsmitteln sinnvoll.

B. Die absolute Trockenlegung

Unter absoluter Trockenlegung versteht man nach *E. Harndt* (1955) „eine Methode zur Erreichung einer zuverlässigen und über längere Zeit anhaltende Trockenheit. Sie ist durch das Anlegen von Spanngummi gegeben. Hierbei werden die Zähne von einem hochelastischen Gummilappen dicht umspannt und von der Umgebung völlig abgeschlossen".
Von dem in 12 bis 15 cm breiten Rollen gelieferten feinsten Paragummi wird ein quadratisches Stück abgeschnitten, das groß genug ist, um die geöffnete Mundhöhle abzudecken. Mit einer Spezialzange werden entsprechend der Größe und Stellung der trocken zu legenden Zähne Löcher aus der Gummiplatte ausgestanzt. Dieser Kofferdamgummi umspannt nun die Zahnkronen fest. Zur sicheren Fixierung des Kofferdamgummis können der jeweiligen anatomischen Zahnform angepaßte Stahlklammern, sogenannte Kofferdam-

klammern, auf die Kronen aufgesetzt oder im Frontzahnbereich Ligaturen aus gewachster Seide um die Zahnhälse gelegt werden.

III. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

EXPERIMENTELLER TEIL

A. Voruntersuchungen

Als Modellfall wählten wir eine Zahnhalskavität in der oberen Front. Zunächst verschafften wir uns einen Überblick über die Feuchtigkeitsfaktoren, die auf dieses Gebiet einwirken können.

1. Feuchtigkeitsfaktoren, die auf diese Kavität einwirken können:

a) Atmungsfeuchtigkeit

Wir unterscheiden Mundatmung und Nasenatmung.

aa) Mundatmung:

Beim Ein- und Ausatmen durch den geöffneten Mund wirken zwei Hauptfaktoren auf den Feuchtegrad in der Mundhöhle ein:
Beim Einatmen: die Feuchtigkeit der Außenluft
Beim Ausatmen: die Feuchtigkeit der Atemluft
Im Rhythmus der Atmung vermischen sich beide, so daß ein Gemisch aus der Ausatmungsfeuchtigkeit, der Feuchtigkeit der Außenluft und der Feuchtigkeit, der in der Mundhöhle zwischen beiden Vorgängen verbleibenden Luft, entsteht. Um dieses Feuchtigkeitsgemisch prozentual zu erfassen, benutzten wir ein Haarhygrometer, das geringfügig umgebaut wurde. Das feuchtigkeitsempfindliche synthetische „Haar" verlegten wir in einen einseitig siebartig gelöcherten Tennisball. Diese Vorrichtung gestattete es uns, gezielt vor der Mundöffnung, in Höhe der Zahnreihe oder hinter der Zahnreihe, zu messen. Gemessen wird die Atemluftfeuchtigkeit und zwar direkt an der Mundöffnung, zwischen den Zahnreihen der Front des Unter- und Oberkiefers. Außerdem wird mit einem zweiten unveränderten Hygrometer die Luftfeuchtigkeit im Meßraum registriert.

RELATIVE FEUCHTIGKEIT IN %	
Außenluft	Mundatmung
65 %	80 %

(Meßzeit: 1 Min.)

Tab.1: Vergleichswerte für Außenluft und Mundatmungsfeuchtigkeit

bb) Nasenatmung:

Beim Ein- und Ausatmen durch die Nase wird die Luftsäule im geöffneten Mund kaum bewegt. Die Außenluft strömt durch die Nase ein und die gesättigte Ausatmungsluft wird wieder durch die Nase abgeatmet. In der Mundhöhle finden wir bei dieser Situation eine Luft, die zwar durch die feuchten Schleimhäute anfangs gesättigt ist, jedoch mit der Außenluft direkt in Verbindung steht. Dadurch entsteht ein Gefälle zur Außenluftfeuchtigkeit, welches bewirkt, daß die Luft in der Mundhöhle bald die relative Feuchtigkeit der Außenluft annimmt.

Die folgenden Messungen zeigen dies. Die Meßpunkte sind die gleichen wie bei der Mundatmung.

RELATIVE FEUCHTIGKEIT IN %	
Außenluft	Nasenatmung
65 %	65 %

(Meßzeit: 1 Min.)

Tab.2: Vergleichswerte für Außenluft und Nasenatmungsfeuchtigkeit

Da die praktische Durchführung gezeigt hat, daß eine reine Nasenatmung im oben genannten Sinne nur theoretisch durchgeführt werden kann, d. h. daß im Augenblick des Schluckaktes doch immer wieder höhere Feuchtigkeitsgrade auch bei der Nasenatmung auftreten, wurde für diese Vergleichsmessung die Mundhöhle mit einem Kofferdamgummi abgedeckt.

b) Feuchtigkeitsfaktoren aus der Umgebung der Kavität:

Da sich in der Zahnfleischtasche immer etwas Sekret befindet und die Präparation unserer Zahnhalskavität eine Reizung oder auch Verletzung der Zahnfleischpapille mit sich bringen kann, möchten wir als weitere Faktoren noch Sekret, Blut und Serum erwähnen.

2. Bekannte Feuchtigkeitsmeßmethoden

a) Widerstandsverfahren (*W. Lang* 1953)

Zur Messung der Feuchtigkeit verwendet man bei diesem Verfahren die aus der Physik bekannte elektrische Widerstandsmessung. Hierzu werden von der Firma Siemens ungeeichte Feuchtemesser mit 2 Meßbereichen und neutraler Skala geliefert, die für alle Materialien verwendbar sind. Ihre Leitfähigkeit steht in reproduzierbarem Zusammenhang mit ihrer Feuchte. Es werden Meßelektroden verwendet, die den unpolarisierbaren Elektroden zur Messung der Muskelpotentiale ähneln. Die Meßeinrichtung wandelt über einen Meßverstärker die Meßspannung in einen proportionalen Meßstrom um, den man beispielsweise zum Betrieb eines Drehspulschreibers oder zum Steuern von Regeleinrichtungen ausnutzen kann. Je mehr Feuchtigkeit vorhanden ist, desto besser ist die Leitfähigkeit eines Stoffes (Abb. 1).

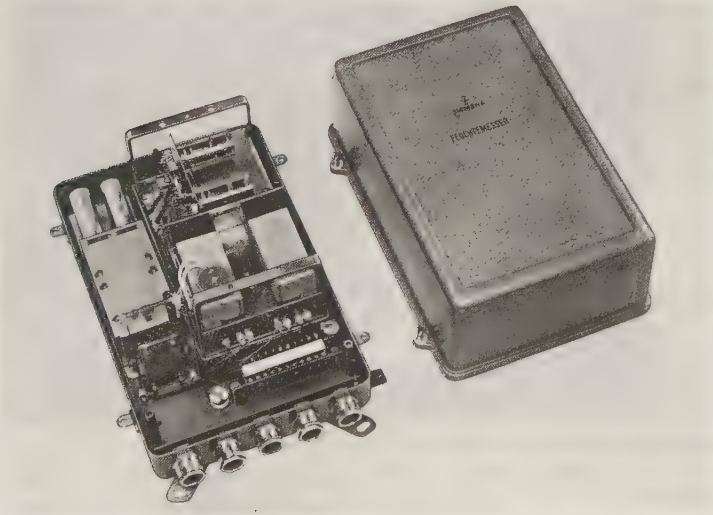

Abb. 1: Feuchtemeßeinrichtung mit Verstärker der Firma Siemens

b) Elektronische Feuchtigkeitsmeßmethode (*H. H. Wagener* 1960)

Diese Methode wurde ursprünglich zu Transpirationsmessungen an begrenzten Arealen der Haut verwendet. Die Anordnung besteht aus einer Meßkapsel, mit der im abgeschlossenen Kapselraum auftretende Feuchtigkeiten gemessen werden können. Sie enthält einen Lithiumchloridstreifen und überträgt die Spannungsschwankungen über einen 2-Kanalträgerfrequenzverstärker mit Gleichrichter an ein Registriergerät. Das Meßprinzip beruht auf der feuchtigkeitsabhängigen Änderung des Wechselstromwiderstandes von Lithiumchlorid (Abb. 2).

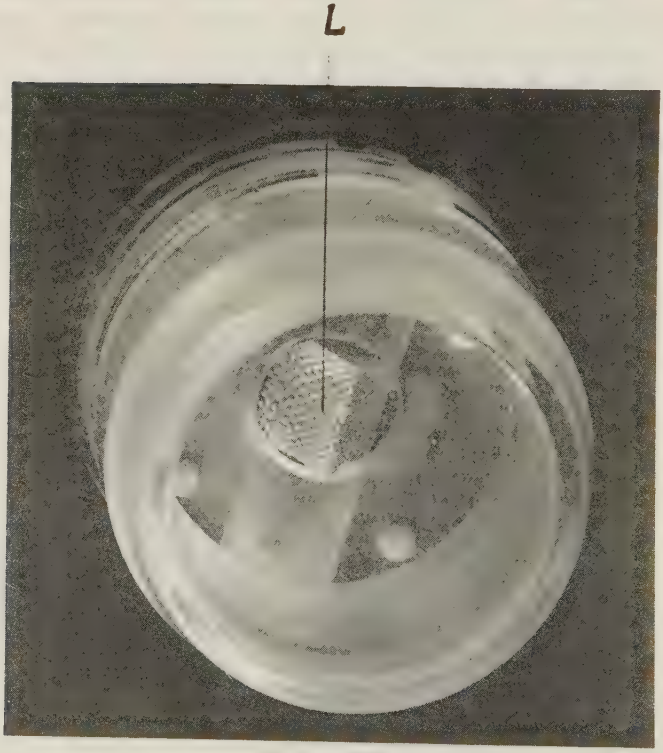

Abb. 2: Meßkapsel (nach H. H. Wagener)
L = Lithiumchloridstreifen

Sowohl das Widerstandsverfahren, als auch die elektronische Meßmethode erwiesen sich für unsere Zwecke als unbrauchbar. Beim Widerstandsverfahren gingen wir von der Vorstellung aus, den sich in einer Kavität befindlichen Speichelfilm als leitende Flüssigkeit zu verwenden. Leider mußten wir feststellen, daß im praktischen Versuch die Voraussetzungen dazu nicht gegeben waren.

Mit der elektronischen Methode läßt sich auf Grund der abgeschlossenen Kapsel nur eine Momentaufnahme der entsprechenden Feuchtigkeitssituation herstellen. Da wir aber eine kontinuierliche Messung über 7 Minuten erhalten möchten, war auch diese Methode nicht geeignet. Deshalb mußten wir ein eigenes Verfahren entwickeln.

B. Eigene Feuchtigkeitsmeßmethode

Um über einen längeren Zeitraum die Zunahme der Feuchtigkeit, d. h. sämtliche Feuchtigkeitseinflüsse auf die Kavität zu messen, mußten wir diese insgesamt erfassen. Auf der Suche dieses Problem zu lösen, stießen wir auf den in der chemischen Industrie zum Trocknen feuchter Gase verwendeten Werkstoff: Silikagel. Für unsere Problemstellung war es als Substanz geeignet. Es konnte über die Meßzeit von 7 Minuten alle Feuchtigkeit, sowohl solche, die als Atemfeuchtigkeit in die Kavität gelangte, als auch die relative Luftfeuchtigkeit registrieren. Was in der Industrie mit Farbindikatoren zur optischen Feuchtekontrolle gelöst wurde, bewerkstelligten wir mit der Analysenwaage. Dieser Silikagelpuder konnte jedoch nicht einfach in die Kavität eingebracht werden, da er bei Wasseraufnahme zu einem Brei zerfällt. In diesem Zustand wäre er nicht mehr ohne Verlust aus der Kavität entfernbar. Deshalb mußte er in eine saugfähige und hydrophile Hülle gebracht werden.

1. Herstellung der Meßkörper

In einer vorgefertigten Form werden halbkugelförmige Hütchen aus nassem Filterpapier gepreßt. Sie haben einen Durchmesser von 3 mm und 4 mm und eine Höhe von 3 mm. In diese gepreßten Formen wird ein Silikagelbrei eingebracht und die Halbkugel mit einer dünnen Schicht saugfähigen Papiers verschlossen. Der Form gemäß entsteht ein Block, der unsere stark hygroskopischen Meßkörper enthält. Durch langsames Erhitzen im Wärmeschrank auf 60° wird der Silikagelbrei zu Pulver und erhält so die Fähigkeit, einen großen Prozentsatz seines Eigengewichtes wieder aufzunehmen. Die einzelnen Meßkörper werden vom Block abgetrennt. Wiegt man sie vor und nach Einbringen in die Kavität, so läßt

sich der Zuwachs an Gewicht als Summe aller auf die Kavität eingewirkten Feuchtigkeitsfaktoren berechnen.

2. Stanzform

Abb. 3: Stahlform zur Herstellung der Silikagel-Meßkörper mit Stanzstäbchen

Als Stanzform verwenden wir einen Eisenblock mit Präzisionsbohrungen in 2 verschiedenen Größen. Außerdem werden zwei Stanzstäbchen benutzt, die in entsprechender Größe Positivformen der Halbkugeln tragen (vergleiche Abb. 3).

3. Herstellung der Meßhütchen

Um die feuchtigkeitsempfindliche Substanz, die als feines, weißes geruch- und geschmackloses Silikagelpulver vorliegt, aufzunehmen, werden mit dem unter 2. beschriebenen Stanzblock und den Stanzstiften halbkugelige Formen gepreßt. Man benutzt normales Filterpapier (Marke Ederol Nr. 15 J. C. Bincer; Hatzfeld/Oder) mit Wasser, so daß es sich unter geringer Kraftanwendung gut verformen läßt und beginnt mit der Herstellung der nach oben offenen Halbkügelchen. Sodann wird mit Wasser und Silikagelpulver ein Brei angerührt, den man mit einer Einmal-

spritze (ohne Kanüle) in die Vertiefungen einspritzt. Der Überschuß wird mit einem feinen Pinsel auf die gesamte Papieroberfläche verteilt, so daß nun das gesamte Papier mit einer dünnen Schicht dieses Breies präpariert ist. Darüber legt man eine Lage extrem dünnes saugfähiges Papier (hier wurde eines der 4 zusammengepreßten Papieranteile eines Tempotaschentuches verwendet). Um bei der anschließenden Trocknung einen festen Halt der beiden Schichten zu erzielen, wird die letzte Schicht einmal mit $Na_2O \cdot 3–4\ Si\ O_2$ (*Römpp* 1958) überzogen. Dadurch und durch das vorhandene Wasser entsteht ein SiO_2-Gel, das nach dem Trocknen auskristallisiert und die beiden Papierschichten verklebt. Nach Trocknung werden die Meßkügelchen je nach Gebrauch ausgeschnitten (vergleiche Abb. 4).

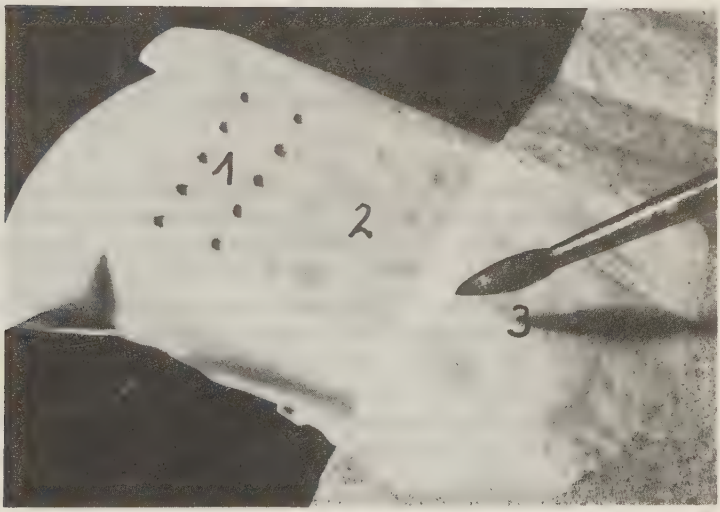

Abb. 4: Teil des Herstellungsganges der Silikagel-Meßkörper
1 = Filterpapier in die Formen einadaptiert
2 = Formen mit Silikagelbrei abgefüllt
3 = Abdeckung der Formen mit sehr dünnem, saugfähigem Papier unter Einpinseln der beiden Papierschichten mit verklebendem Gel.

4. Physikalische Eigenschaften des Meßkörpers

Der gebrauchsfertige Meßkörper wird vor Versuchsbeginn aktiviert, d.h. man erhitzt ihn langsam auf 60 bis 80° C. Zur Kontrolle legt man der

Petrischale einen Blaugel-Indikator bei. Er verändert sich von rosa bis dunkelblau. Bei dunkelblauer Indikatorfarbe ist der Meßkörper sehr feuchtigkeitsempfindlich, besonders gegenüber der Raumfeuchtigkeit. Diesen Zustand nennen wir Aktivitätsphase I. Sie erstreckt sich über eine Zeit von etwa 20 Minuten, in der sich der Körper der Luftfeuchtigkeit (60 – 80 %) angleicht. Er bleibt nun der Luftfeuchtigkeit gegenüber inaktiv. Setzt man ihn aber z. B. der Atmungsfeuchtigkeit aus, die ja feuchtigkeitsübersättigt ist, so nimmt er weiter Feuchtigkeit auf, bis er seine maximale Sättigung erreicht hat. Diesen Abschnitt nennen wir Aktivitätsphase II.

Vorversuche haben gezeigt, daß die Gewichtszunahme bei den Messungen, die unter sogenannter absoluter Trockenlegung gemacht wurden, sehr gering war. Daher mußten wir einen Zeitpunkt für die Messung wählen, zu dem unser Meßkörper auch gegen minimale Feuchtigkeitsmengen empfindlich war. Anhand einer Arbeitskurve (Tab. 3) wurde die hierfür günstigste Zeit t_0 dieser Gewichtszeitkurve für die einzelnen Techniken ausgewählt. Wir berücksichtigen diese Tatsache bei der Durchführung der Versuche.

Bekanntlich nimmt Blaugel (gekörntes Kieselgel mit Indikator) nach Trocknung bei 60 bis 80° C eine von der relativen Luftfeuchtigkeit im Bereich von 60 bis 80 % verhältnismäßig schwach abhängige Wassermenge auf.
Die physikalische Struktur des Blaugel und dessen Eichkurve sind bekannt (Versuchsblatt, Fa. Herrmann, Köln-Ehrenfeld). Da das von uns verwendete Silikagelpulver eine andere physikalische Struktur hat als das Blaugel, mußte eine neue Eichkurve aufgestellt werden. Hierzu wurde die Aufnahmefähigkeit bei 65 % Luftfeuchtigkeit über einen Zeitraum von 20 Minuten gemessen, bis das Gewicht konstant blieb.

Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

t / min	0	1	2	3	4	5
G/ 10^{-5}g	1205	1210	1218	1222	1227	1230
t / min	6	7	8	9	10	11
G/ 10^{-5}g	1234	1237	1239	1240	1241	1243
t / min	12	13	14	15	16	17
G/ 10^{-5}g	1245	1246	1247	1248	1248,5	1249,5
t / min	18	19	20			
G/ 10^{-5}g	1250	1250	1250			

Tab. 3: Kontinuierliche Meßreihe der Gewichts-Zunahme bei 65% Luftfeuchte über 20 Minuten.

Trägt man die Meßpunkte in ein Gewicht-Zeit-Schaubild ein, so erhält man folgende Kurve:

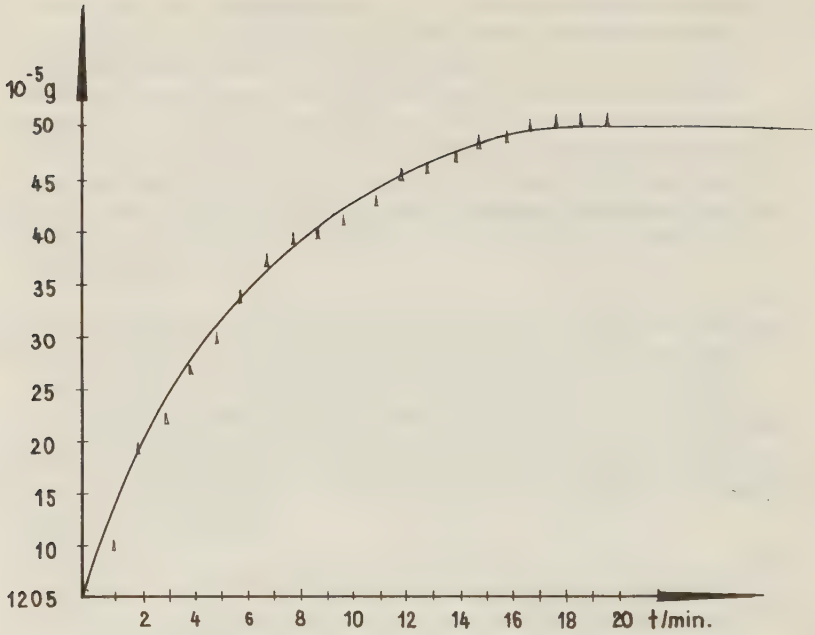

Abb. 5: Gewicht-Zeit-Schaubild des Silikagel-Meßkörpers

Zur Kontrolle der praktischen Versuchsdurchführung ist es erforderlich, die Zeitabhängigkeit des Gewichtes der Kieselgelprobe analytisch darzustellen. Wir bezeichnen dieses Gewicht mit $g_{(t)}$, die Zeitableitung mit $\dot{g}(t)$ und die Zeit mit t. Die Zunahme des Gewichtes sei proportional der Differenz Endgewicht minus momentanes Gewicht.
Wir erhalten dann

$\dot{g}\ (t) \sim g\ (\infty) - g(t)$ oder als Gleichung

$\dot{g}\ (t) = a\ (g(\infty) - g(t))$

Das Integral dieser inhomogen linearen Differentialgleichung lautet:

$$g(t) = g(\infty) - A \cdot e^{-at}$$

Dabei ist A eine Konstante, die z. B. aus dem Anfangsgewicht jeder Probe individuell bestimmt werden kann.
Wir finden also, was nach dem Kurvenverlauf zu erwarten war: Das Gewicht nähert sich exponentiell einem Sättigungswert $g(\infty)$.

Durch Anpassung in 3 Punkten können nun die Größen $g(\infty)$, a und A bestimmt werden. Damit das Problem geschlossen lösbar wird, müssen dazu 3 äquidistante Punkte gewählt werden, z. B. die Werte

t = 0	1205
8	1239
16	1249

Dies führt zu den 3 Gleichungen

$$1205 = g(\infty) - A \qquad \text{(I)}$$

$$1239 = g(\infty) - Ae^{-8a} \qquad \text{(II)}$$

$$1249 = g(\infty) - Ae^{-16a} \qquad \text{(III)}$$

$$\text{(III)} - \text{(II)} : 10 = A\,(e^{-8a} - e^{-16a}) \qquad \text{(IV)}$$

$$\text{(III)} - \text{(I)} : 44 = A\,(1 - e^{-16a}) \qquad \text{(V)}$$

$$\frac{\text{(V)}}{\text{(IV)}} : 4{,}4 = \frac{1 - e^{-16a}}{e^{-8a} - e^{-16a}}$$

$$4{,}4\, e^{-8a} - 4{,}4\, e^{-16a} = 1 - e^{-16a}$$

$$34\, e^{-16a} - 44\, e^{-8a} + 10 = 0$$

$$e^{-8a} = \frac{22 \pm \sqrt{484 - 340}}{34} = \frac{22 \pm 12}{34}$$

$$e^{-8a} = \frac{10}{34}$$

$$8a = \ln 34 - \ln 10$$

$$a = 0{,}15$$

$$\text{In (V)} : A = \frac{44}{1 - e^{-16 \cdot 0{,}15}} = \frac{44}{1 - e^{-2{,}4}}$$

$$= \frac{44}{1 - 0{,}09} = 48$$

In (I) : $g(\infty) = 1205 + 48 = 1253$

Damit lautet die Gleichung:

$$g(t) = 1253 - 48\, e^{-0{,}15\, t}$$

Wobei t in Min. und g in 10^{-5} g zu messen sind. Zur Kontrolle der Güte der Approximation ist die Kurve in das Schaubild eingetragen.

t / min	0	4	8	12	16	20
G/ 10^{-5}g	1205	1227	1239	1245	1249	1250

Die Übereinstimmung ist offensichtlich befriedigend, so daß damit auch der Ansatz für die Differentialgleichung gerechtfertigt ist.
Für Blauegel, eine Substanz mit gleicher chemischer, aber anderer physikalischer Struktur liegen Messungen über die Fähigkeit zur Feuchtigkeitsaufnahme vor. Sie zeigen, daß die Sättigungsmenge im Bereich von 60 bis 80 % rel. Luftfeuchtigkeit ziemlich schwach von der Luftfeuchtigkeit abhängt und, was uns hier allein interessiert, direkt proportional zur Gelmasse ist. Wir können daher die relative Gewichtszunahme von

$$p = \frac{1250 - 1205}{1205} = 3{,}6\,\%$$

als Materialkonstante ansehen.

C. Meßapparatur und Methodik

Die eigentliche Meßapparatur besteht aus einer Spezialhalterung und einer Analysenwaage.

1. Die Spezialhalterung wurde von uns speziell für diese Messungen in und an Zahnhalskavitäten konstruiert. Sie besteht aus einem großen verstellbaren Kopfreif (R), mehrgelenkigen Zwischengliedern (Z) und einem sterilisierbaren Metallträger (T) für die kleine Silikagelhalbkugel (vergleiche Abb. 6).

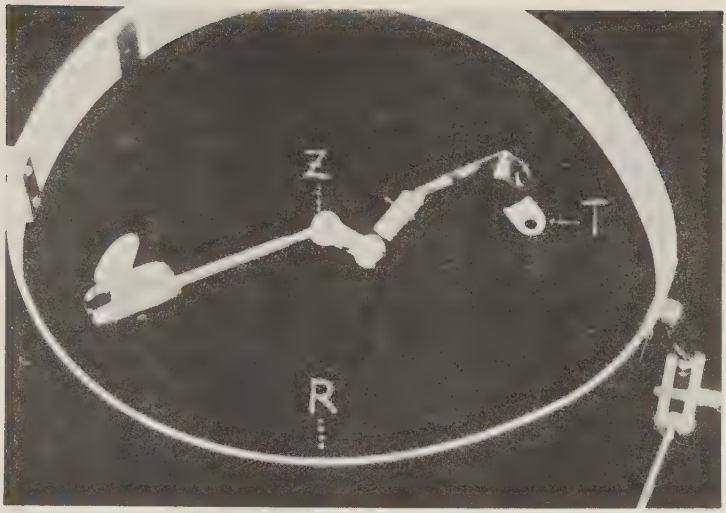

Abb. 6: Halterung für die Messungen
Bestehend aus: R = Kopfreif,
Z = Zwischenglieder, mehrgelenkig,
als Verbindung zum T = Metallträger
für den Silikagelmeßkörper

2. Die Analysenwaage hat die Typenbezeichnung M5SA Mettler. Diese Mikrowaage dient zur Gewichtsbestimmung bis zu 20 g bei einer Genauigkeit von $\pm$ 0,002 mg. Die letzte Stelle des Wägeresultates wird mittels eines Mikrometers abgelesen. Um das Eindringen von Feuchtigkeit und anderen Störfaktoren in den Schalenraum zu verhindern, ist dieser Typ mit einer mechanischen Schalenabhebevorrichtung ausgerüstet.

3. Versuchsablauf am Patienten

Vor und nach jeder Untersuchung wird die Silikagelhalbkugel gewogen, der Meßunterschied festgehalten und gleichzeitig die Raumluftfeuchtigkeit mittels eines Hygrometers registriert. Der eigentliche Meßvorgang läßt sich am besten an Hand der schematischen Abbildung darstellen (Abb. 7). Die Silikagelhalbkugel (M) liegt dem Rand der bereits mit einer Unterfüllung (UF) versorgten und trockengelegten Kavität (K) an; sie vermag sowohl von der Kavität als auch von außen her Feuchtigkeit aufzunehmen.

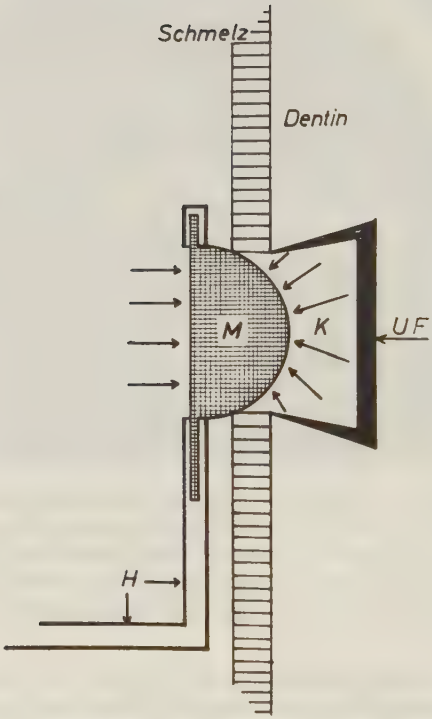

Abb. 7: Meßvorgang (schematisch), wobei
K = Kavität, UF = Unterfüllung,
M = Silikagelmeßkörper,
H = Halterung

Die Versuche wurden an 4 verschiedenen Patienten durchgeführt. Die Versuchskavitäten befanden sich bei allen Versuchspersonen am Zahnhals eines oberen Eckzahnes. Durch Verwendung eines genormten Bohrers hatten sie einen Durchmesser von 3,0 mm. Bei den Probanten A und B betrug der Abstand des oberen Kavitätenrandes zur Gingiva 2 mm. Bei den Probanten C und D nur 0,5 mm. Diese Tatsache war bei der Durchführung der Versuche zu berücksichtigen. Wir stellten zwei Vergleichsmeßreihen auf und wählten für die Methoden der sogenannten relativen Trockenlegung „Watterollen", für die absolute Trockenlegung „Kofferdam". Diese beiden Meßreihen wurden miteinander verglichen.

a) Kofferdam

Bei Probant A und B war es geradezu ideal, einen Kofferdam mit Ligaturen anzulegen. Diese Meßreihen bezeichneten wir mit Kofferdam I.
Bei Probant C und D reichte die Ligatur nicht aus. Um ein trockenes und übersichtliches Arbeitsfeld zu erhalten, war es nötig, unter Oberflächenanästhesie eine Kofferdamklammer nach gingival hochzudrükken. Die unter diesen Voraussetzungen gemachten Versuche bezeichneten wir mit Kofferdam II.
Bei jeder der Versuchspersonen wurden 10 Messungen in einer Sitzung durchgeführt. Wir erhielten also für Kofferdam I (Probant A und B) 20 Meßwerte und für Kofferdam II (Probant C und D) 20 Meßwerte. Dabei betrug die Raumfeuchte 65 %, die Raumtemperatur 21^{o} C und t_0 = 10 min. für Kofferdam I, t_0 = 15 min. für Kofferdam II.

Bei den Messungen wird nun wie folgt verfahren: Nach Beendigung des Trockenvorganges bleibt die Probe eine Zeit t_0 sich selbst überlassen, während der sie dem Einfluß der Luftfeuchtigkeit unterliegt.
Sie befindet sich in der Aktivitätsphase I. Nach dieser Zeit t_0 wird die Probe gewogen; man mißt das Gewicht g (t_0). Jetzt wird der Meßkörper in Kontakt mit der trockengelegten Kavität gebracht; nach einer Zeit t_1 = 7 Minuten, die für alle Messungen konstant ist, wird wieder gewogen und es ergibt sich das Endgewicht = G_E. Der ganze Vorgang wird in folgendem Schaubild dargestellt, in dem die Ordinate ohne Maßstab das Gesamtgewicht der Probe, die Abszisse die Zeit seit Ende der Trocknung darstellt:

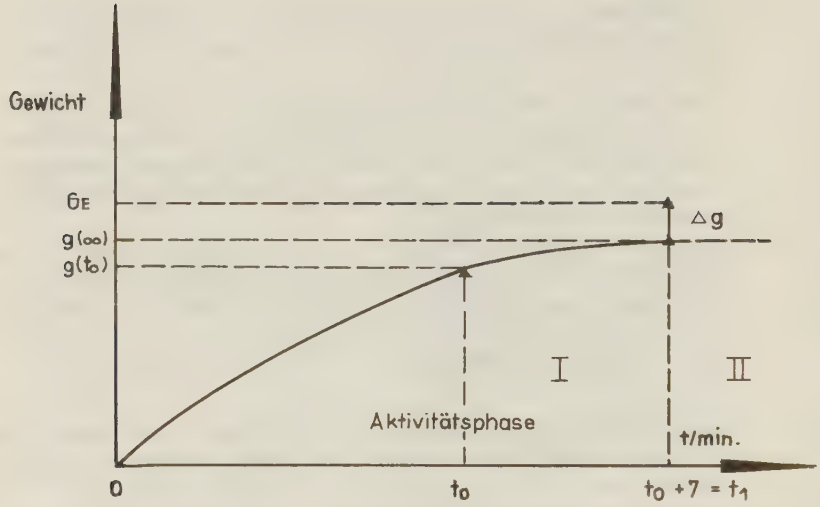

Abb. 8: Graphische Darstellung der Aktivitätsphasen I und II bei Kofferdammessungen

G_E = *Endgewicht*
$g(\infty)$ = *Gewicht zum Zeitpunkt der Aufnahmekonstanz*
$g(t_0)$ = *Anfangsgewicht der aktivierten Probe*
$\triangle g$ = *Effektiver Gewichtsunterschied*
t_0 = *Zeitpunkt des Meßbeginns*
t_1 = *Zeitpunkt bei Ende der Messung*

Während der Aktivitätsphase I folgt die Gewichtszunahme ungestört dem Zeitgesetz. Bis zur Zeit $t_0 + 7$ Minuten würde die Probe, bliebe sie sich selbst überlassen, das Gewicht $g(\infty)$ (bis auf wenige Prozente) erreichen. Tatsächlich mißt man jedoch das Gewicht G_E, das neben der Luft auch die eigentlich zu messende Feuchtigkeit der Kavität enthält. Nimmt man, was zweifellos in guter Näherung richtig ist, reine Additivität der beiden Mechanismen der Feuchtigkeitsaufnahme an und berücksichtigt man, daß durch das Legen des Kofferdams die in der Umgebung des Zahnes befindliche Luft im wesentlichen dieselbe Feuchtigkeit hat wie die Zimmerluft, so findet man, daß die hier interessierende Meßgröße (in Abb. 9 und 10 durch einen Pfeil dargestellt) sich aus den oben eingeführten Daten

$$\text{zu} \triangle g = G_E - g(\infty)$$

berechnet.

Dabei ist G_E direkt gemessen, $g(\infty)$ jedoch zunächst unbekannt. Mit Hilfe der oben abgeleiteten Zeitabhängigkeit läßt sich jedoch $g(\infty)$ durch $g(t_o)$ ausdrücken, wenn man berücksichtigt, daß die Probe einen Bruchteil p an Feuchtigkeit aufnehmen kann:
Es gilt dann:

$$g(\infty) = g(o) \cdot (1 + p)$$

$$g(t_o) = g(\infty) - A \cdot e^{-at_o}$$

$$g(o) = g(\infty) - A$$

Mit Hilfe dieser 3 Gleichungen müssen die Unbekannten $g(\infty)$ und A durch die bekannten Größen $g(t_o)$, a und p ausgedrückt werden. Man findet nach einigen Umformungen

$$g(\infty) = g(t_o) \quad \frac{1}{1 - \frac{P}{1 + pe^{-at_o}}}$$

oder

$$g(\infty) - g(t_o) = g(t_o) \cdot pe^{-at_o}$$

Dabei sind wegen der Kleinheit von p nur die in p linearen Glieder berücksichtigt. Mit Hilfe dieser Gleichung kann die Meßreihe für Kofferdam korrigiert werden. Der Zahlenwert des Korrekturfaktors ist

$$pe^{-at_o} = 0{,}036 \; e^{-0{,}15 \text{ min}^{-1} \cdot 10 \text{ min}} = 0{,}007$$

b) Watterollen

Diese Messungen wurden ebenfalls in der Aktivitätsphase II unseres Meßkörpers durchgeführt. Sie erfolgten nach Einlagen von zwei Watterollen der Größe 2 in die Umschlagfalte oberhalb des betreffenden Zahnes. Die Raumtemperatur betrug 21° C, $t_o > 20$ Minuten. Hier wurden ebenfalls in je einer Sitzung bei jeder Person 10 Messungen durchgeführt. Nach jeder Messung wurden frische Watterollen eingelegt. Nach jeder zweiten Messung wurde eine Pause von 5 Minuten zur Normalisierung des Mundmilieus durchgeführt.

Bei allen Messungen wurde zusätzlich ein Speichelsauger verwendet und vor jeder Messung die Kavität durch Austupfen mit Wattepellets und einmaligem kurzen Ausblasen mit temperierter Luft getrocknet.

IV. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE – QUANTITATIVE UND STATISTISCHE AUSWERTUNG

Aus 40 Meßwerten werden mit Hilfe der Gauß'schen Ausgleichsrechnung (*R. Zurmühl* 1957) der Mittelwert, sein mittlerer Fehler, sowie der mittlere Fehler der Einzelmessung berechnet.
Die Methode sei kurz skizziert:
Zur Vereinfachung der Rechnung sucht man sich einen Rohwert A für den Mittelwert; die einzelnen Meßwerte seien l_i, ihre Gesamtzahl betrage n. Nun ermittelt man die Größen $\lambda_i = l_i - A$.
Der Mittelwert x berechnet sich zu

$$x = A + \frac{1}{n} \left[\Sigma_i \cdot \lambda_i \right]$$

Das mittlere Schwankungsquadrat MSQ ergibt sich zu

$$MSQ = \left[\Sigma_i \cdot \lambda_i^2 \right] - \frac{1}{n} \cdot (\Sigma_i \cdot \lambda_i)^2$$

Daraus folgt der mittlere Fehler der Einzelmessung

$$m = \sqrt{\frac{MSQ}{n-1}} \quad \text{und}$$

der mittlere Fehler des Mittelwertes

$$m_x = \frac{m}{\sqrt{n}}$$

A. Auswertung der Meßreihen Kofferdam

a) Kofferdam I

Probant A und B

Kofferdam I t_o = 10 Minuten

Gingivalabstand = 2 mm

Temperatur = 21° C

Luftfeuchtigkeit = 65 %

Meßzeit = t_1 = 7 Minuten

Materialkonstante p = 0,036

Umrechnungsfaktor = 0,007

$g(t_0)$	$g(\infty)$-$g(t_0)$	$g(\infty)$	G_E	$\Delta g=G_E$-$g(\infty)$	Rohwert A	$\lambda_i=l_i$-A	$\lambda_i 2$
1054	7	1061	1064	3	2	1	1
951	7	958	960	2	2	0	0
533	4	537	543	6	2	4	16
852	6	858	863	5	2	3	9
656	5	661	667	6	2	4	16
1367	10	1377	1378	1	2	-1	1
1060	7	1067	1069	2	2	0	0
969	7	976	980	4	2	2	4
958	7	965	967	2	2	0	0
1252	9	1261	1261	0	2	-2	4
1357	9	1366	1366	0	2	-2	4
1260	9	1269	1270	1	2	-1	1
1255	9	1264	1264	0	2	-2	4
1170	8	1178	1179	1	2	-1	1
966	7	973	977	4	2	2	4
984	7	981	995	4	2	2	4
1073	8	1081	1081	0	2	-2	4
1163	8	1171	1172	1	2	-1	1
1177	8	1185	1187	2	2	0	0
952	7	959	963	4	2	2	4

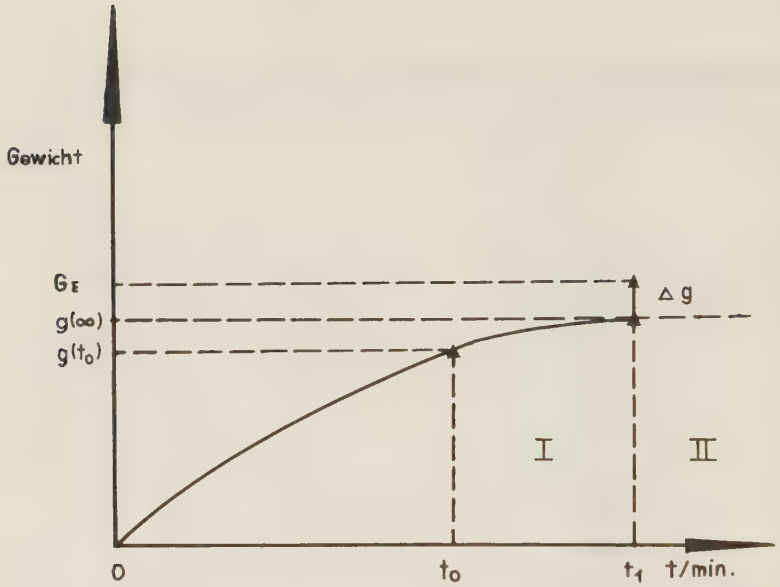

Abb. 9: Graphische Darstellung des Umrechnungsfaktors für Kofferdam I

G_E = *Endgewicht*
$g(\infty)$ = *Gewicht zum Zeitpunkt der Aufnahmekonstanz*
$g(t_0)$ = *Anfangsgewicht der aktivierten Probe*
Δg = *Effektiver Gewichtsunterschied*
t_0 = *Zeitpunkt des Meßbeginns*
t_1 = *Zeitpunkt bei Ende der Messung*

Der zugehörige arithmetische Mittelwert ist

$$\overline{\Delta g} = 2{,}4 \qquad \lambda_i = 8 \qquad \lambda_i^2 = 74$$

$$(vv) = (\lambda_i^2) - \frac{1}{n} (\lambda_i)^2 = MSQ$$

$$m = \sqrt{\frac{(vv)}{n-1}} \qquad m_x = \frac{m}{\sqrt{n}}$$

$$(vv) = 74 - \frac{1}{20} \cdot 64 = 71{,}8$$

Mittlerer Fehler $m = \sqrt{\frac{71,8}{19}} = 1,9$ der Einzelmessung

Gesamt: $m = \frac{1,9}{\sqrt{20}} = 0,44$

$\Delta g = (2,4 \pm 0,4) \cdot 10^{-5}$ g

Die Feuchtigkeitszunahme bei der Kofferdammeßreihe der Probanten A und B beträgt $2,4 \pm 0,4 \cdot 10^{-5}$ g.
Der mittlere Fehler dieses Ergebnisses entspricht 16 % des Mittelwertes.

b) Kofferdam II

Probant C und D

Kofferdam II t_o = 15 Minuten

Gingivalabstand = 0,5 mm

Temperatur = 21 °C

Luftfeuchtigkeit = 65 %

Meßzeit = t_1 = 7 Minuten

Materialkonstante p = 0,036

Umrechnungsfaktor = 0,004

$g(t_o)$	$g(\infty)-g(t_o)$	$g(\infty)$	G_E	$\Delta g=G_E-g(\infty)$	Rohwert A	λ_i	$\lambda_i 2$
1235	5	1240	1249	9	8	1	1
2050	8	2058	2064	6	8	-2	4
2523	10	2533	2539	6	8	-2	4
3240	13	3253	3255	2	8	-6	36
1245	5	1250	1260	10	8	2	4
1354	5	1359	1368	9	8	1	1
1400	6	1406	1416	10	8	2	4
1570	6	1576	1585	9	8	1	1
1633	7	1640	1648	8	8	0	0
2050	8	2058	2064	6	8	-2	4
1345	5	1350	1360	10	8	2	4
2324	9	2333	2340	7	8	-1	1
1758	7	1765	1772	7	8	-1	1
2464	10	2474	2478	4	8	-4	16
1570	6	1576	1584	8	8	0	0
1782	7	1789	1797	8	8	0	0
1820	7	1827	1836	9	8	1	1
1650	7	1657	1665	8	8	0	0
1345	5	1350	1360	10	8	2	4
1373	5	1378	1387	9	8	1	1

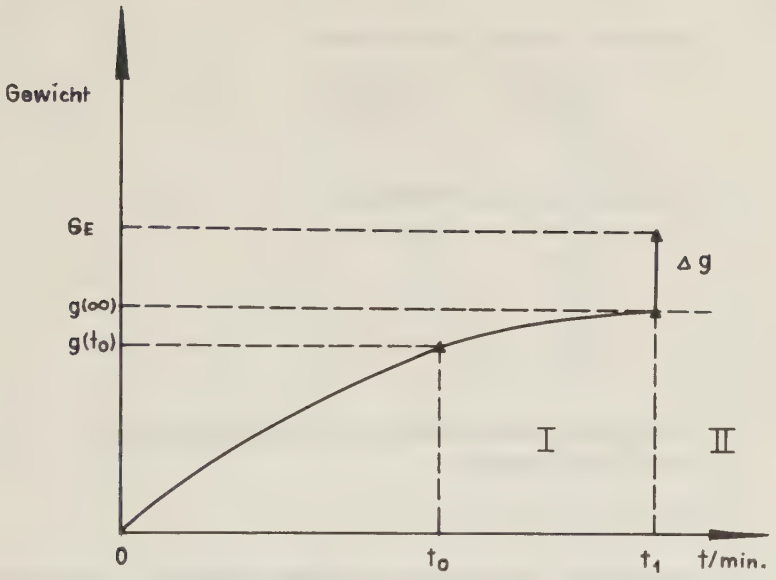

Abb. 10: Graphische Darstellung des Umrechnungsfaktors für Kofferdam II

G_E = *Endgewicht*
$g(\infty)$ = *Gewicht zum Zeitpunkt der Aufnahmekonstanz*
$g(t_0)$ = *Anfangsgewicht der aktivierten Probe*
Δg = *Effektiver Gewichtsunterschied*
t_0 = *Zeitpunkt des Meßbeginns*
t_1 = *Zeitpunkt bei Ende der Messung*

$g(t_1) \approx g(\infty)$ bis auf geringe Abweichungen!

Damit $\Sigma_i \cdot \lambda_i = -5 \qquad \Sigma_i \cdot \lambda_i^2 = 87$

Mittelwert

$$x_i = 8 - \frac{5}{20} = 7{,}75$$

$$MSQ = 87 - \frac{25}{20} = 85{,}75$$

Mittlerer Fehler der Einzelmessung:

$$m = \sqrt{\frac{MSQ}{n-1}} = \sqrt{\frac{85,75}{19}} = 2,1$$

Mittlerer Fehler des Mittelwertes:

$$m = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{2,1}{\sqrt{20}} = 0,5$$

$$\Delta g = (7,8 \pm 0,5) \cdot 10^{-5} \text{ g}$$

Die Feuchtigkeitszunahme bei der Kofferdammeßreihe der Probanten C und D beträgt

$7,8 \pm 0,5 \cdot 10^{-5}$ g.

Der mittlere Fehler dieses Ergebnisses entspricht 6 % des Mittelwertes.

B. Auswertung der Meßreihen Watterollen

a) Watterollen I

Probant A und B

Watterollen I t_o = 20 Minuten

Gingivalabstand = 2 mm

Temperatur = 21° C

Meßzeit = t_1 = 7 Minuten

G_A	G_E	Δg	Rohwert	λ_i	λ_i^2
1247	1324	77	74	3	9
1300	1370	70	74	-4	16
1456	1533	77	74	3	9
1525	1600	75	74	1	1
1600	1675	75	74	1	1
984	1058	74	74	0	0
1065	1138	73	74	-1	1
1152	1222	70	74	-4	16
1100	1170	70	74	-4	16
1264	1340	76	74	2	4
1312	1382	70	74	-4	16
1745	1822	77	74	3	9
2000	2078	78	74	4	16
1618	1690	72	74	-2	4
1724	1798	74	74	0	0
1435	1507	72	74	-2	4
1870	1945	75	74	1	1
1753	1833	80	74	6	36
1510	1586	76	74	2	4
1200	1270	70	74	-4	16

$$\Sigma_i \cdot \lambda_i = 1 \qquad \Sigma_i \cdot \lambda_i^2 = 179$$

Also: Mittelwert $x = 74 + \frac{1}{20} = 74{,}05$

$$MSQ = 179$$

Mittlerer Fehler der Einzelmessung:

$$m = \sqrt{\frac{179}{19}} = 3$$

Mittlerer Fehler des Mittelwertes:

$$m_x = \frac{3}{\sqrt{20}} = 0{,}7 \; \Delta g = (74 \pm 0{,}7) \cdot 10^{-5} \; g$$

Die Feuchtigkeitszunahme bei der Watterollenmeßreihe der Probanten A und B beträgt
$74 \pm 0{,}7 \cdot 10^{-5}$ g.
Der mittlere Fehler dieses Ergebnisses entspricht 1 % des Mittelwertes.

b) Watterollen II

Probant C und D

Watterollen II t_o = 20 Minuten

Gingivalabstand = 0,5 mm

Temperatur = 21° C

Meßzeit = t_1 = 7 Minuten

G_A	G_E	Δg	Rohwert	λ_i	λ_i^2
1100	1170	70	75	-5	25
1165	1245	80	75	5	25
1200	1284	84	75	9	81
1340	1418	78	75	3	9
1200	1275	75	75	0	0
1265	1338	73	75	- 2	4
1343	1416	73	75	- 2	4
805	870	65	75	-10	100
1000	1075	75	75	0	0
1200	1280	80	75	5	25
1247	1320	73	75	- 2	4
1200	1275	75	75	0	0
965	1040	75	75	0	0
805	875	70	75	- 5	25
1453	1531	78	75	3	9
564	640	76	75	1	1
1295	1370	75	75	0	0
1254	1332	78	75	3	9
1452	1530	78	75	3	9
1643	1720	77	75	2	4

$$\Sigma_i \cdot \lambda_i = 8 \qquad \Sigma_i \cdot \lambda_i^2 = 334$$

Also: Mittelwert $x = 75 + \frac{8}{20} = 75{,}4$

$$MSQ = 334 - \frac{64}{20} = 331$$

Mittlerer Fehler der Einzelmessung:

$$m = \sqrt{\frac{331}{19}} = 4{,}2$$

Mittlerer Fehler des Mittelwertes:

$$m_x = \frac{4{,}2}{\sqrt{20}} = 0{,}9$$

$\Delta g \ (75{,}4 \pm o{,}9) \cdot 10^{-5} g$

Die Feuchtigkeitszunahme bei der Watterollenmeßreihe der Probanten C und D beträgt
$75{,}4 \pm 0{,}9 \cdot 10^{-5}$ g.
Der mittlere Fehler dieses Ergebnisses entspricht 1 % des Mittelwertes.

V. DISKUSSION

Vorweg darf gesagt werden, daß bislang keine Methode bekannt ist, Feuchtigkeitsmessungen an Zähnen bzw. in deren Kavitäten durchzuführen. Insofern konnten in der vorliegenden Arbeit erstmals die zum festen Bestandteil der zahnärztlichen Fachliteratur gewordenen Ausdrücke der „absoluten und relativen Trockenlegung" genauer untersucht werden.

Auf der Suche nach einer geeigneten Meßmethode stießen wir auf einen stark hygroskopischen Stoff, der in der chemischen Industrie zum Trocknen feuchter Gase oder zur Absorption von Feuchtigkeit in empfindlichen Geräten, zur Anwendung gelangt: „Das Silikagel".
In Pulverform – wie aufgezeigt – zu einem in Halbkugelform geprßten Meßkörper verarbeitet, vermag es mit Hilfe einer Spezialhalterung Feuchtigkeit aufzunehmen. Der jeweilige Gewichtszuwachs vor und nach der Messung wird mit Hilfe einer Analysenwaage bestimmt und gibt dann Aufschluß über die vorhandenen Feuchtigkeitsverhältnisse.

Da dieses Meßverfahren für zwei sehr unterschiedliche Techniken der Trockenlegung, nämlich für Kofferdam einerseits und Watterollen andererseits,angewandt werden kann, ist es nötig, die Empfindlichkeit der Meßkörper zu verändern. Um für beide Arten gut registrierbare Werte zu erhalten, wurde der Aktivitätszustand der Meßkörper variiert. Zur einheitlichen Beurteilung aller Meßergebnisse mußte eine mathematische Rückrechnung durchgeführt werden. Dies geschah jeweils mit Hilfe eines Korrekturfaktors und einer Materialkonstanten. Hierbei ist es erwähnenswert, daß auf Grund dieser Umrechnung die Meßergebnisse von der Luftfeuchtigkeit des Untersuchungsraumes unabhängig werden.

Da das Anlegen von Kofferdam oder das Einbringen von Watterollen kein fest umrissener, physikalisch erfaßbarer Vorgang ist, können unsere Meßwerte keine absoluten Zahlen, sondern nur Vergleichszahlen sein. Es ist jedoch möglich,Gewichtsunterschiede festzustellen und weiterhin aufzuzeigen, in welcher numerischen Beziehung diese beiden Techniken zueinander stehen.

So liegen die Meßdaten der Meßreihe „Watterollen" zu jenen der Meßreihe „Kofferdam" um etwa das 35fache höher. Physikalisch ließe sich dies dadurch erklären, daß sich die übersättigte Ausatmungsluft auf den nach labial gerichteten,

der niederen Raumfeuchtigkeit und Temperatur ausgesetzen Zahnflächen tropfenförmig niederschlägt.

Dies würde auch die Überlegung von *J. Stüben* (1966) untermauern, der schreibt: „. . . zwar läßt sich der Zutritt von Sekret aus dem Zahnfleischsaum durch viele Hilfsmittel (Hallerklammern, Gingipac u.a.) einigermaßen sicher verhindern, aber die Feuchtigkeit der Ausatmungsluft, die sich in Form feinster Tröpfchen auf der Füllungsoberfläche niederschlägt, ist sicher nur durch den Spanngummi auszuschalten".

Hier wird deutlich, **daß sich die beiden Arten der Trockenlegung, die sogenannte relative und die sogenannte absolute Trockenlegung, nicht so sehr in ihrer Funktion als Hilfsmittel zum Fernhalten von Blut, Speichel u. ä. unterscheiden, sondern einzig und allein durch die Tatsache, daß bei Anlegen des Kofferdamgummis der zu behandelnde Zahn sozusagen außerhalb des Mundmilieus zu liegen kommt und dem Einfluß der Ausatmungsluft entzogen ist.** Beim Anlegen aller anderen Hilfsmittel verbleibt der Zahn immer **im Mundmilieu.** Hierbei ist weiter hervorzuheben, daß eine „absolute Trockenlegung" im mathematisch-physikalischen Sinne nicht vorliegt, da immer noch – wenn auch geringe – Feuchtigkeitswerte registriert werden.

Auf Grund dieser Tatsacheen ist es genau betrachtet irreführend, von einer „absoluten und relativen Trockenlegung" zu sprechen. Wissenschaftlich exakter wäre es, eine **extraorale** von einer **intraoralen** Trockenlegung zu unterscheiden.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird eine Meßapparatur aufgezeigt, die es ermöglicht, geringste Feuchtigkeitsmengen in Kavitäten am Patienten zu erfassen und zu messen.

Gleichzeitig werden mit dieser Apparatur Methoden der „sogenannten absoluten und relativen Trockenlegung" genauer untersucht.
Stellvertretend für die absolute Trockenlegung ist das Anlegen von Spanngummi = „Kofferdam", für die relative Trockenlegung das Anlegen von Watterollen.

Für beide Techniken wurden Untersuchungen an zwei Probantengruppen angestellt. Bei der Gruppe A und B lagen die Zahnhalskavitäten 2 mm, bei der Gruppe C und D 0,5 mm vom entsprechenden Gingivalsaum, entfernt.
Auf Grund dieser Untersuchungen kann zusammenfassend festgestellt werden:

1. Die beschriebene Apparatur ermöglicht ein reproduzierbares Messen von Feuchtigkeitsmengen in Kavitäten am Patienten.
2. Die jeweiligen Meßwerte der Untersuchungsreihen von „Kofferdam" einerseits und „Watterollen" andererseits unterscheiden sich wesentlich.
   So liegt bei den Messungen mit „ Watterollen" im Vergleich zu denen mit „Kofferdam" eine 35fach höhere Feuchtigkeit vor.
3. Von einer „absoluten Trockenheit" im mathematischen Sinne kann nicht gesprochen werden. Im günstigsten Falle werden immer noch Werte von $2{,}4 \pm 0{,}4 \cdot 10^{-5}$ g registriert.
4. Darüber hinaus ist eine gewisse Abhängigkeit hinsichtlich der Kavitätenlokalisation und der damit verbundenen Feuchtigkeitsmenge augenscheinlich.
   So liegen innerhalb der „Kofferdam-Meßreihe" zwischen den Probanten A und B – „Kavitätenabstand" 2 mm – und den Probanten C und D – „Kavitätenabstand" 0,5 mm – die Werte bei
   $$2{,}4 \pm 0{,}4 \cdot 10^{-5} \text{ g bzw. } 7{,}8 \pm 0{,}5 \cdot 10^{-5} \text{ g.}$$
   Innerhalb der „Watterollen-Meßreihe" liegen die Werte für die Probanten A und B bei $74 \pm 0{,}7 \cdot 10^{-5}$ g, für die Probanten C und D bei $75{,}4 \pm 0{,}9 \cdot 10^{-5}$ g.

VII. LITERATURVERZEICHNIS

1. *Anderson, J.N.:* Applied Dental Materials
Blackwell Scientific
Publications Oxford 1961, S. 318 – 327

2. *Arnold, H.:* Die Problematik der Frontzahnfüllung
Zahnärztl. Welt **4**, 116 – 124 (1963)

3. *Dieck, C.:* Über methodische Prüfung der Silikatzemente
Dtsch. Maschr. Zahnheilk.
8, 225 – 241 und 289 – 305 (1922)

4. *Dreyer-Jörgensen, K.:* Warum werden Silikatzemente weiß
Quintessenz **7**, 35 – 37 (1966)

5. *Eichner, K.:* Die Silikat- und Silicophosphatzementfüllungen
Dtsch. zahnärztl. Z. **20**, 541 – 548 (1965)

6. *Eichner, K.:* Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihrer Verarbeitung
Berlinische Verlagsanstalt G.m.b.H.
Berlin 1960, S. 288 – 297

7. *Fritz, W. und Ketterl, W.:* Untersuchungen über Silikatzemente
Dtsch. zahnärztl. Z. **21**, 794 – 799 (1966)

8. *Greuer, W. und Peukert, L.:* Eine Methode zur Messung der Feuchtigkeitsabgabe der menschl. Haut durch Widerstandsmessung eines Halbleiters
Arch. Derm. Syph. **179**:410 (1940)

9. *Harndt, E.:* Caries, Klinik und Therapie in:
Die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde,
2. Bd., Urban und Schwarzemberg,
München/Berlin 1955, S. 396

10. *Heerd, E. und Ohara, K.:* Untersuchungen über die Wasserdampfabgabe kleiner Hautflächen beim Menschen
Pflüger's Arch. **272**:25 (1960/61)

11. *Kimmel, K.H.:* Die Frontzahnfüllung
Dent. Echo **35**, 22 – 27 (1965)

12. *Krihning, H.:* Zur Problematik der Silikatzemente
Dtsch. Stomat. **14**, 509 – 513 (1964)

13. *Klauer, H.:* Zum augenblicklichen Stand der zahnärztlichen Zemente und Silikate
Dtsch. zahnärztl. Z. **27**, 1527 – 1532 (1962)

14. *Lang, W.:* Die elektrische Holzfeuchtemessung nach dem Widerstandsverfahren
Norddeutsche Holzwirtschaft **20**, 7 (1953)

15. *Leopold, E.:* Über das Auswaschen und Trockenlegen von Kavitäten und Wurzelkanälen
Dtsch. Zahnärztebl. **18**, 382 – 383 (1964)

16. *Lück, W.:* Feuchtigkeit, Grundlagen, Messen,Regeln
München, Wien, Oldenburg 1964, S.44 ff.

17. *Maeglin, B.:* Zur Rationalisierung der Frontzahnfüllungen
Zahnärztl. Rdsch. **73**, 273 – 279 (1964)

18. *Morgenstern, M.:* Untersuchungen der Silikat- und Phosphatzemente unter besonderer Berücksichtigung ihrer physikalischen Eigenschaften
Österr. -ung. Vjschr. Zahnhkd. **4**, 514 – 536 (1905)

19. *Münch, F. C.:* Zahnfüllungen
Dtsch. Zahnärztebl. **19**, 478 (1965)

20. *Plathner, C. H.:* Werkstoffkundliche und klinische Untersuchungen an einigen gebräuchlichen Silikatzementen
Dtsch. Stomat. **16**, 99 – 103 (1966)

21. *Rebel, H.H.:* Konservierende Zahnheilkunde
Carl Hanser Verlag, München, 1950
S. 45 – 55

22. *Riedel, H.:* Zum gegenwärtigen Stand in der Beurteilung von Füllungsmaterialien
Dtsch. Zahnärztebl. **18**, 215 – 224 (1964)

23. *Römpp, H.:* Chemie-Lexikon
Frank'sche Verlagshandlung Stuttgart, 1958, S. 4820 – 4822, 4047 – 4048

24. *Schatzmann, M.:* Neue Untersuchungen über die Löslichkeit der Silikatzemente und ihre klinische Bedeutung
Quintessenz **10**, 19 – 22 (1964)

25. *Schatzmann M. und H.v.Weissenfluh:* Zervicalfolien und Gingiva-Abheber
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 1117 – 1124 (1961)

26. *Schoenbeck, F.:* Zahnärztliche Werkstoffkunde
Johann Ambrosius Barth Verlag Leipzig, 1942, S. 130 – 157

27. *Sprungmann, W.:* Zur Chemie und Physik der Silikatzemente
Dtsch. Mschr. Zahnheilk. **14**, 429 – 441 (1923)

28. *Strumpell, C.:* Einiges über das Verfärben der Silikatzemente
Dtsch. zahnärztl. Wschr. **46**, 969 – 972 (1908)

29. *Stüben, J.:* Fehlerquellen bei der Verarbeitung von Silikatzementen und ihre praktische Ausschaltung
Dtsch. Zahnärztebl. **20**, 225 – 230 (1966)

30. *Stüben J. und Godt, H.:* Experimentelle Untersuchung über Säureabgabe bei verschiedenen Silikat- und Phosphatzementen
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 983 – 995 (1964)

31. *Wagener, H. H.:* Neue Methode zur fortlaufenden Feuchtigkeitsmessung
Helv. Physiol Acta **19**, : 3 (1960)

32. *Wagener, H. H.:* Verfahren zur Messung der Wasserdampfabgabe der menschl. Haut
Dermatologica **123**/277 – 287 (1961)

33. *Walkhoff-Hess:* Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde
Hoh.Ambr. Barth-Verlag Leipzig, 1954, S. 104

34. *Walter, K.:* Silikatzemente, Untersuchungen über neuere Möglichkeiten der Verarbeitung
Med. Diss. Tübingen (1935)

35. *Zurmühl, R.:* Praktische Mathematik
Springer, Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1957, S. 269 ff.

Zum Schluß der Arbeit möchte ich Herrn Professor Dr. Dr. P. Riethe für die außerordentlich rasche Durchsicht des Manuskriptes, sowie die Übernahme der Berichterstattung meinen besten Dank aussprechen.

Herrn Akad. Rat Dr. R. Mayer darf ich für die Anregung zu dieser Arbeit und die vielseitige Unterstützung recht herzlich danken.

Lebenslauf

Am 15. September 1942 wurde ich, Günter Vautz, als erster Sohn des Zahnarztes Dr. Helmut Vautz und seiner Ehefrau Dr. Liselotte, geb. Bendler, in Gengenbach (Baden) geboren.

Von 1948 bis 1952 besuchte ich die Grundschule in Offenburg. 1952 trat ich in die Oberrealschule in Offenburg ein. 1956 wechselte ich an das Staatlich anerkannte Gymnasium Heimschule Lender in Sasbach über. Dort legte ich am 16. März 1963 die Reifeprüfung ab.

Seit dem Sommersemester 1963 war ich an der Eberhard-Karls-Universität in Tübingen als Studierender der Zahnheilkunde immatrikuliert. Im Wintersemester 1965 bestand ich nach fünf vorklinischen Semestern die zahnärztliche Vorprüfung. Am 26. Juli 1968 legte ich nach weiteren fünf klinischen Semestern an der Universität Tübingen mein Staatsexamen ab.